

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/241424980>

Analisi del periodo di AE UMa con dati disomogenei. Invito all'osservazione

Article in *Astronomia. La rivista dell'Unione Astrofili Italiani* · June 2009

CITATIONS

0

READS

83



Lorenzo Franco

Independent Researcher

80 PUBLICATIONS 18 CITATIONS

SEE PROFILE



Alessandro Marchini

Università degli Studi di Siena

134 PUBLICATIONS 39 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Curricular examinations [View project](#)



PHEMU, Mutual Phenomena between Jupiter Galilean Satellites [View project](#)

Lorenzo Franco^{1,2}, Alessandro Marchini^{2,3}

Analisi del periodo di AE UMa con dati disomogenei. Invito all'osservazione

¹ A81 Balzaretto Observatory, Rome - lor_franco@libero.it² SSV - UAI/GRAV,³ Osservatorio Astronomico, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Siena - marchini@unisi.it

Abstract

The idea for this study was born from a desire to analyze AE UMa data collected independently by the authors, which were the result of filtered and non filtered observations, obtained with different instruments and under different operating conditions. More generally, we attempted to explore the possibility of using non-homogeneous observations to study the period, by comparing our results with those published in the literature.

Introduzione

L'idea di questo lavoro è nata dalla volontà di analizzare i dati di AE UMa, raccolti indipendentemente dagli autori, frutto di osservazioni filtrate e non, ottenute con una diversa strumentazione ed in condizioni operative diverse. Più in generale si è cercato di verificare la possibilità di utilizzare delle osservazioni non omogenee tra loro per lo studio dell'analisi del periodo, confrontandone i risultati con quelli pubblicati in letteratura.

AE UMa

La variabile AE UMa è una stella che, seppur studiata da diversi decenni, continua a destare un certo interesse a causa delle fluttuazioni che ne caratterizzano le pulsazioni, ancora non completamente spiegate e tuttora oggetto di studio.

Questa variabile appartiene ad un raro gruppo di cefeidi nane, classificate nel catalogo GCVS (General Catalogue of Variable Stars) [10] con il tipo SX Phe, del quale fanno parte solo altre 29 stelle. Si tratta di sub-nane con periodo di pulsazione di 1-2 ore che appartengono alla popolazione del vecchio disco galattico, con tipi spettrali A2-F5 che, da un punto di vista fenomenologico, somigliano molto alla variabili DSCT (Delta Scuti). Le variabili appartenenti a questo gruppo mostrano delle variazioni di 0.7 mag V, periodi di pulsazione multipli (effetto Blazhko [4, 5]) e sono presenti negli ammassi globulari.

La seguente tabella mostra i principali dati estratti dal catalogo GCVS.

Name	AE UMa
ID	830059
RA (2000.0)	093653.2
Dec. (2000.0)	+440400
Type	SXPHE
Mag. Max	10.86
Mag. Min	11.52
Mag. System	V
Epoch (JD)	35604.338
Period (day)	0.086017055
M-m	16
Spectrum	A9

Osservazioni

Le osservazioni sono state eseguite in modo indipendente dagli autori nel corso del 2007-2008, con e senza l'uso di filtri fotometrici, ed utilizzando una strumentazione diversa e un differente software di riduzione fotometrica.

Tutte le immagini sono state acquisite con Astroart [12] e calibrate con i corrispondenti master dark e master flat con MaximDL [8] e AIP4Win [9], questi ultimi utilizzati anche per la fotometria d'apertura.

Sono state effettuate un totale di 10 sessioni separate, che vanno dal 12 marzo 2007 all'8 maggio 2008 (poco più di 423 giorni), per un numero complessivo di 962 singole misurazioni fotometriche.

La seguente tabella riassume la strumentazione e le principali metodiche utilizzate:

Strumentazione e metodiche	Osservatorio Università di Siena - (UniSi)	A81 Balzaretto Obs di Roma - (A81)
Telescopio	Meade LX200 25 cm, 1600 mm, f/6.3	Meade LX200 20 cm, 2000 mm f/10, ridotto a 1100 mm, f/5.4
Camera CCD	Starlight Xpress SX-L8	Starlight Xpress SXVF-M7
Campo Inquadrato e campionamento	16.5x16.5 arcmin - 1.93x1.93 arcsec/pixel	20.2x15.0 arcmin - 1.61x1.55 arcsec/pixel
Software di Acquisizione	Astroart	Astroart
Software di calibrazione ed analisi fotometrica	MaxImDL 4.56	AIP4Win 2.2.0
Stelle di confronto e check	REF: GSC 2998 1249 CHK1: GSC 2998 0963 CHK2: GSC 2998 1191 CHK3: GSC 2998 1166	C1: GSC 2998 1249 C2: GSC 2998 1166 C3: GSC 2998 0963 C4: GSC 2998 0215 C5: GSC 2998 0883 C6: GSC 2998 0846
Filtro	V Johnson-Cousins (Schuler)	nessun filtro
Osservazioni del	2007 / 03 / 12 2007 / 03 / 13 2007 / 03 / 17 2007 / 03 / 21 2007 / 03 / 23 2008 / 03 / 29 (*)	2008 / 04 / 13 2008 / 04 / 27 2008 / 05 / 04 2008 / 05 / 08

(*) I dati del 29 marzo 2008 sono stati acquisiti utilizzando l'osservatorio dell'Università di Siena in remoto, da parte di quattro studenti, C. Alloci, F. Bastianini, D. Campinotti e G. Caposciutti del Liceo Scientifico "G. Marconi" di Grosseto, al termine dell'attività di orientamento in Astronomia svolta con loro nell'ambito del Progetto Lauree Scientifiche.

I due set osservativi mostrano una differente precisione fotometrica, misurata attraverso la dispersione (deviazione standard) delle differenze di magnitudine tra la stella di riferimento e la stella di controllo. In particolare il set UniSi mostra una maggiore precisione con un valore della disper-



sione di 0.014 (media delle deviazioni standard), rispetto al valore di 0.033 del *set* A81. Su quest'ultimo *set* si nota anche una minore ampiezza delle oscillazioni tra massimi e minimi, riconducibile all'uso di stelle di riferimento diverse e ad osservazioni non filtrate.

Analisi dei dati e Risultati ottenuti

Per l'analisi del periodo ci si è avvalsi del *software* PERANSO (*PERiod ANALysis SOftware*) [6] di CBA Belgium Observatory [11], sul cui sito è possibile scaricare una versione dimostrativa a tempo, ma pienamente funzionante, del programma, oltre al manuale d'uso [7].

Il primo passo è stato quello di creare in PERANSO una nuova sessione di analisi, sulla quale sono stati importati i dati prodotti dalla riduzione fotometrica delle diverse sessioni osservative, applicandovi la correzione eliocentrica e normalizzando le magnitudini differenziali (*zero-point adjustment*). La normalizzazione delle magnitudini differenziali viene applicata calcolando la magnitudine media di ogni sessione osservativa e sottraendo tale valore ad ogni singola osservazione. Questa operazione è particolarmente critica per la successiva analisi del periodo e si rende necessaria a causa della disomogeneità dei dati osservativi (diverso *setup* strumentale e diverse stelle di confronto).

Al termine dei primi due passi è possibile ottenere con PERANSO una visione complessiva sull'insieme delle osservazioni inserite (figura 1), da cui è possibile visualizzare le curve di luce delle singole sessioni osservative (figura 2).

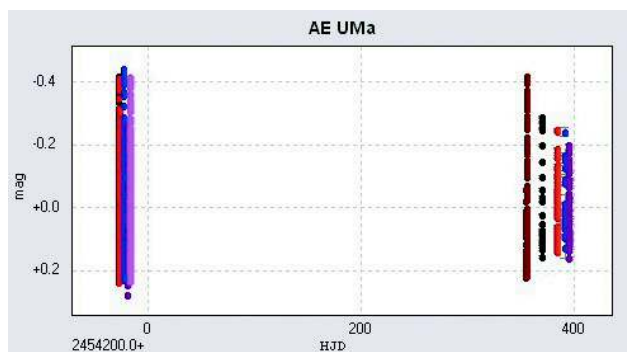


Figura 1. Vista d'insieme delle osservazioni di AE UMa inserite in PERANSO.

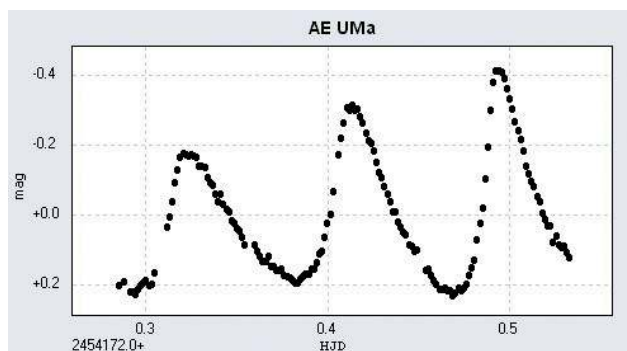


Figura 2. Curva di luce delle osservazioni del 12/3/2007.

Una volta importate le osservazioni in PERANSO è stato possibile avviare la fase di analisi del periodo avvalendosi dell'algoritmo CLEANest, che utilizza il metodo 'Date Compensated Discrete Fourier Transform' (DCDFT) che ben si adatta all'analisi di dati non spazati uniformemente

tra di loro. Tale metodo, unito alla funzione SLICK, permette di identificare il periodo di variazione principale ed i periodi di variazione secondari per le variabili multi-periodo. I metodi CLEANest e SLICK sono descritti nell'articolo 'THE CLEANEST FOURIER SPECTRUM' di G. Foster del 1995 [3]. La funzione SLICK sottrae il periodo principale dalla serie temporale dei dati, permettendo così di far emergere ed identificare anche i periodi secondari. Per ulteriori dettagli sull'uso combinato di queste due funzioni si rimanda al tutorial di PERANSO all'interno del suo manuale d'uso [7].

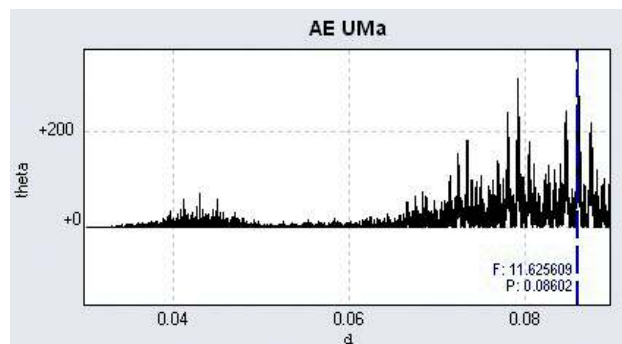


Figura 3. Spettro delle frequenze analizzate, dove è evidenziata la frequenza corrispondente al periodo principale di pulsazione.

Completata la prima fase di analisi, con il metodo CLEANest, si è ottenuto uno spettro (figura 3) dal quale si può identificare la frequenza dominante (periodo principale). La successiva iterazione, sempre con il metodo CLEANest, ha permesso di ottenere una frequenza dominante più precisa con la quale visualizzare il grafico di fase (figura 4).

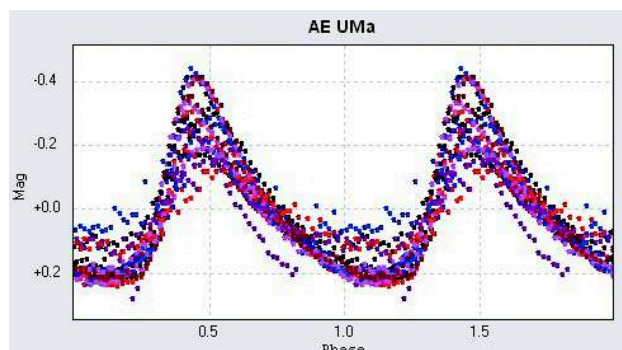


Figura 4. Grafico di fase, basato sul periodo principale di pulsazione.

L'applicazione ripetuta dei metodi CLEANest e SLICK di PERANSO ha portato ad identificare i seguenti tre periodi maggiormente rilevanti (tabella 1):

F0:	Frequenza:	11.625609 d ⁻¹	± 0.000034
	Periodo:	0.08602 d	± 0.00000
	Ampiezza:	0.20	± 0.005
F1:	Frequenza:	15.031250 d ⁻¹	± 0.000143
	Periodo:	0.06653 d	± 0.00000
	Ampiezza:	0.047	± 0.005
F2:	Frequenza:	23.248264 d ⁻¹	± 0.000094
	Periodo:	0.04301 d	± 0.00000
	Ampiezza:	0.072	± 0.005

Tabella 1. I 3 periodi di AE UMa identificati utilizzando le routine di PERANSO.

Da notare che la terza frequenza F2 non è altro che un'armonica della frequenza fondamentale (F0 x 2) e quindi

andrà scartata. La seguente tabella (tabella 2) mostra il risultato dell'analisi del periodo condotto sui singoli *set* di dati, messi a confronto con quello ottenuto dal loro insieme combinato (UniSi & A81).

	F0		F1	
	Frequenza (d ⁻¹)	Errore	Frequenza (d ⁻¹)	Errore
UniSi	11.625609	0.000049	15.03122	0.00022
A81	11.624528	0.001240	15.61280	0.00290
UniSi & A81	11.625609	0.000034	15.03125	0.00014

Tabella 2. Analisi del periodo di AE UMa, con i due set di dati separati (sopra) e con l'insieme combinato (sotto). Si noti come con quest'ultimo origini un valore medio della stima dell'errore delle frequenze di pulsazione più basso.

Si può notare come l'insieme combinato delle osservazioni fornisca un valore medio della stima dell'errore delle frequenze di pulsazione più basso.

Sul nostro insieme di dati è stato inoltre determinato con PERANSO il TOM (*Time of Maximum*) di ogni massimo osservato attraverso il *fit* con un polinomio del quinto grado (figura 5); i valori ottenuti sono riportati nella seguente tabella (tabella 3):

#	TOM (HJD)	Incertezza	#	TOM (HJD)	Incertezza
1	2454172.3234	0.00087	11	2454183.3346	0.00060
2	2454172.4135	0.00067	12	2454183.4171	0.00054
3	2454172.4946	0.00046	13	2454183.5075	0.00068
4	2454173.2747	0.00086	14	2454555.3590	0.00053
5	2454173.3564	0.00045	15	2454555.4409	0.00046
6	2454173.4389	0.00057	16	2454570.4068	0.00032
7	2454177.4030	0.00108	17	2454584.3518	0.00279
8	2454177.4841	0.00049	18	2454584.4299	0.00051
9	2454177.5678	0.00049	19	2454595.3560	0.00161
10	2454181.3523	0.00053	20	2454595.4382	0.00100

Tabella 3. Il Tempo di ogni massimo (TOM) e la relativa incertezza, calcolati sull'insieme dei dati.

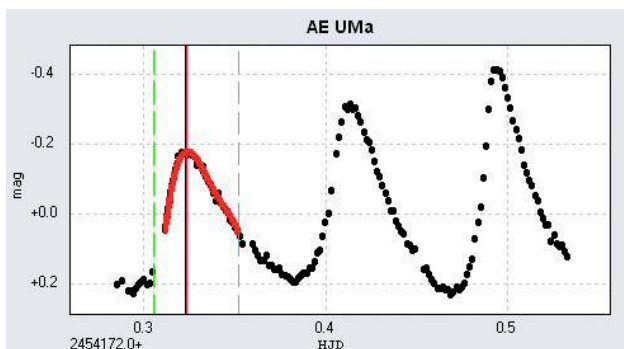


Figura 5. Determinazione di uno dei massimi della curva di luce, tramite il *fit* di un polinomio di quinto grado.

Per ciascun massimo osservato si è poi determinato lo scostamento dal massimo calcolato in base all'effemeride di M. D. Pócs and B. Szeidl [1]:

$$C = 2442062.5824 + 0.08601707 \times E \quad (1)$$

ottenendo così i valori dei residui O-C mostrati in figura 6 e accompagnati dal *fit* lineare e quadratico (rispettivamente linea continua e tratteggiata), i cui coefficienti sono (tabella 4):

Lineare: $O-C = -2.34E-09 \times P - 0.00026$ ($R^2 = 0,0031$)
Quadratico: $O-C = 1.06E-13 \times P^2 - 1.62E-08 \times P - 9,04E-05$ ($R^2 = 0,0124$)

Tabella 4. Residui O-C mediante *fit* lineare o quadratico. *P* rappresenta il periodo (medio) principale di pulsazione ed R^2 il coefficiente di determinazione.

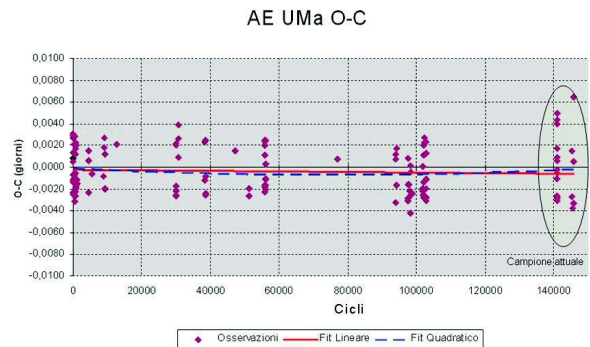


Figura 6. Residui O-C sui tempi di massimo delle osservazioni raccolte da M. D. Pócs and B. Szeidl confrontate con quelle del nostro campione.

Come si può vedere dal grafico, l'andamento dei residui O-C è caratterizzato da anticipi e da ritardi intorno al periodo medio di pulsazione. Questo particolare andamento denota dei battimenti di interferenza tra la frequenza di pulsazione principale F0 ed il tono superiore F1, che avevamo individuato precedentemente con l'analisi del periodo.

Questa è una caratteristica tipica delle variabili multiperiodo di tipo RR Lyrae, denominata effetto Blazhko [4, 5] (dal nome dello scopritore), e caratterizzata dalla modulazione del periodo e dell'ampiezza delle pulsazioni. I modelli fisici in grado di spiegare questo tipo di pulsazioni sono tuttora in corso di studio e fanno riferimento a dei moti di pulsazione radiali e non radiali degli strati della stella risonanti tra di loro.

Il periodo di interferenza del battimento P_B , ottenuto dalle due pulsazioni di periodo P_0 e P_1 , può essere definito con la relazione:

$$P_B = P_0 * P_1 / |P_0 - P_1| \quad (2)$$

La differenza di tempo degli anticipi e dei ritardi, intorno al periodo medio, si può determinare con una relazione di tipo sinusoidale, il cui valore andrà a sommarsi algebricamente a quello ottenuto con l'effemeride principale (1):

$$\Delta t = A_B * \sin(2\pi * \text{fase}) \quad (3)$$

$$\text{fase} = \text{parte frazionaria (NP)}$$

$$NP = (E_1 - E_0) / P_B$$

dove:

A_B = ampiezza pulsazione (battimento) residui O-C

E_1 = epoca del TOM

E_0 = epoca di riferimento

P_B = periodo di pulsazione (battimento) residui O-C

Applicando la relazione (2) ai periodi P_0 e P_1 , determinati con l'analisi del periodo di AE UMa, si ottiene il valore:

$$P_B = 0.29363.$$

Per verificare la rispondenza di questo risultato con i dati osservativi dei residui O-C, si è provveduto ad analizzarli con PERANSO per ricercarne il periodo di pulsazione del battimento.

Dall'analisi effettuata con PERANSO sui residui O-C (figura 7), è emerso un periodo di battimento coerente con quello ricavato analiticamente con la relazione (2) (tabella 5).

$$\begin{aligned} P_B &= 0.293634 \quad d \pm 0.00000 \\ F_B &= 3.40560249 \quad d^{-1} \pm 0.00000395 \\ A_B &= 0.0028 \quad d \pm 0.0002 \end{aligned}$$

Tabella 5. Periodo di pulsazione del battimento di AEUMa ricavato con PERANSO.

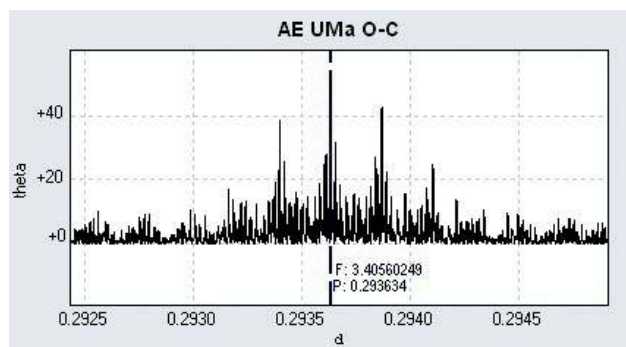


Figura 7. Spettro del periodo di pulsazione (battimento) dei residui O-C individuato con PERANSO.

Il diagramma di fase di figura 8 mostra l'andamento dei residui O-C in relazione al *fit* sinusoidale, ricavato tramite la relazione (3) e confermato da una distribuzione di tipo gaussiano dei suoi residui (figura 9).

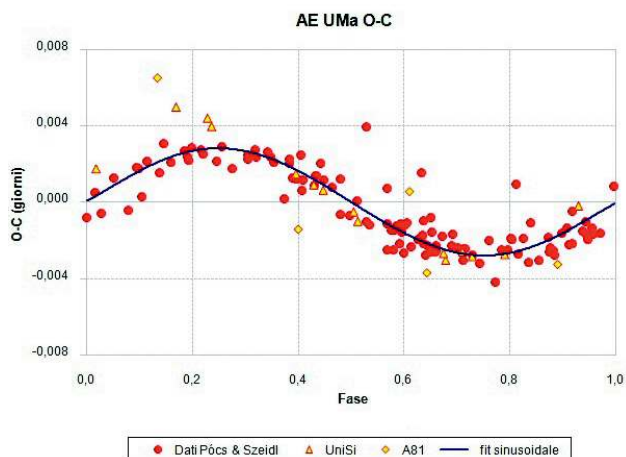


Figura 8. Diagramma di fase dei residui O-C rispetto al *fit* sinusoidale calcolato sulla base del periodo di battito $P_B = 0.293634$ dell'interferenza dei due periodi principali di pulsazione (coefficiente di determinazione del fit: $R^2 = 0.996$).

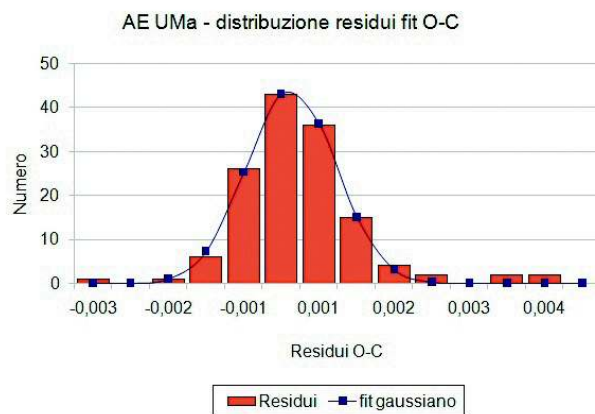


Figura 9. Distribuzione dei residui delle osservazioni O-C rispetto al *fit* sinusoidale.

Inoltre la deviazione standard del *fit* sinusoidale con i residui O-C dei tre insiemi di dati (Pócs & Szeidl, UniSi e A81) si colloca rispettivamente sui valori 0.0009, 0.0010 e 0.0031 a conferma del buon accordo con il *fit* sinusoidale. Questa ulteriore analisi denota una sostanziale stabilità del periodo medio principale di pulsazione, su di un arco temporale di poco più di 34 anni (dal 1974 al 2008), con un andamento delle pulsazioni del battito (anticipi e ritardi O-C) ben interpretato dalla componente sinusoidale della effemeride (3) e dal periodo ed ampiezza di pulsazione P_B e A_B .

Conclusioni

Le due frequenze di pulsazione ottenute con la nostra analisi, $F_0=11.625609$ e $F_1=15.031250$, sono risultate in ottimo accordo con gli studi di M. D. Pócs and B. Szeidl [1] e di A.-Y. Zhou [2] pubblicati nel 2001, i cui valori sono rispettivamente (tabella 6):

M. D. Pócs and B. Szeidl [1]	$F_0 = 11.625601 \, d^{-1} \pm 0.000002$	$F_1 = 15.031184 \, d^{-1} \pm 0.000008$
A.-Y. Zhou [2]	$F_0 = 11.625600 \, d^{-1} \pm 0.0000002$ $A = 0.2106 \pm 0.0011$	$F_1 = 15.031200 \, d^{-1} \pm 0.0000010$ $A = 0.0419 \pm 0.0011$

Tabella 6. Frequenze di pulsazione di AE UMa riportate in bibliografia.

Il risultato ottenuto è quindi da considerarsi molto buono e in linea con quelli pubblicati in letteratura, i cui valori rientrano all'interno della nostra fascia di incertezza. La precisione con la quale sono state determinate le due frequenze di pulsazione è risultata inferiore rispetto ai lavori di Pócs & Szeidl e Zhou. Si ritiene comunque che con l'aumentare del numero di osservazioni disponibili sia possibile, anche con strumentazione amatoriale, raggiungere un maggior livello di precisione.

Anche i valori dei residui O-C delle nostre osservazioni sono in linea con quelli pubblicati nel lavoro di M. D. Pócs and B. Szeidl e confermano la sostanziale stabilità del periodo principale di pulsazione di AE UMa su di un arco temporale di 34 anni.

Gli andamenti dei residui O-C sono risultati inoltre ben interpretati dal periodo di battimento $P_B=0.293634$, ottenuto sia analiticamente che attraverso l'analisi della periodicità

dei residui, effettuata con PERANSO. Il periodo di battimento rappresenta quindi la modulazione delle interferenze causate dai due periodi di pulsazione della stella (periodo principale e secondario). Da un punto di vista intuitivo il fenomeno è del tutto simile agli effetti di modulazione del suono ottenuti da due canne d'organo che suonano contemporaneamente due note diverse.

Per concludere, il presente lavoro ha potuto dimostrare come sia possibile effettuare un'analisi con sufficiente precisione, partendo da osservazioni disomogenee e non filtrate, provenienti da diversi osservatori, ed ottenendo comunque dei risultati in ottimo accordo con quelli pubblicati in letteratura. Si è visto anche come l'effetto combinato dei vari insiemi di osservazioni porti ad una riduzione dell'incertezza con la quale viene calcolato il periodo di pulsazione della stella.

Si riporta infine l'effemeride completa, composta dalla componente lineare (1) e da quella sinusoidale (3) con l'invito ad osservare la variabile AE UMa nelle prossime campagne osservative, allo scopo di riuscire ad ottenere dei dati utili alla verifica dell'attendibilità di questa effemeride.

$$C = 2442062.5824 + 0.08601707 * E + A_B * \sin(2 \pi * \text{fase}) \quad (4)$$

fase = parte frazionaria (NP)

$$NP = (E_1 - E_0) / P_B$$

dove:

C = epoca prevista del massimo (HJD)

E = numero periodi componente lineare

$A_B = 0.0028$ (ampiezza battimento)

E_1 = epoca osservazione (HJD)

$E_0 = 2442062.584$ (epoca di riferimento)

$P_B = 0.293634$ (periodo battimento)

Bibliografia

- [1] Pócs M. D., Szeidl B., A. & A., **368**, 880-887 (2001)
- [2] Zhou A. Y., A. & A., **374**, 235-242 (2001)
- [3] Foster G., A. J., **109**, 1889-1902 (1995)
- [4] Smith H. A., *RR Lyrae Stars*, Cambridge, Cambridge University Press, 1995
- [5] Stothers R. B., A. J., **652**, 643-649 (2006)
- [6] PERANSO (www.peranso.com)
- [7] PERANSO User Manual (d1052380.domain.com/peranso/PeransoUserManual.pdf)
- [8] MaximDL (www.cyanogen.com)
- [9] AIP4Win (www.willbell.com/aip/index.htm)
- [10] GCSV Catalogue (www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs)
- [11] CBA Belgium Observatory (d1052380.domain.com)
- [12] Astroart (www.msb-astroart.com)



Tel./Fax 39.041.5830145

**www.gambato.it
info@gambato.it**

